

## Werkzeug zum Herstellen von Gussbauteilen, Verfahren zum Herstellen des Werkzeugs und Verfahren zum Herstellen von Gussbauteilen

Die Erfindung betrifft ein Werkzeug zum Herstellen von Gussbauteilen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Des weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines derartigen Werkzeugs nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 6 sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Gussbauteils nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 11.

Die hier vorliegende Erfindung betrifft die Herstellung von Bauteilen, insbesondere Gasturbinenbauteile, aus Nichteisenmetallschmelzen, insbesondere Titan-Aluminium-Legierungen, insbesondere solche mit 43-48 Gew% Aluminium, welche eine intermetallische Phase ausbilden mithilfe eines Gießverfahrens. Beim Gießen werden Formen, sogenannte Gussformen, verwendet, wobei die Gussformen eine Innenkontur aufweisen, die der Außenkontur des herzustellenden Bauteils entspricht. Prinzipiell unterscheidet man bei Gießverfahren solche, die mit verlorenen Gussformen oder Dauergussformen arbeiten. Bei Gießverfahren, die mit verlorenen Gussformen arbeiten, kann mit einer Gussform immer nur ein Bauteil hergestellt werden. Bei Gießverfahren, die mit Dauergussformen arbeiten, können die Gussformen mehrfach verwendet werden. Zu den Gießverfahren, die mit verlorenen Gussformen arbeiten, zählt unter anderem das sogenannte Feingießen. Bei den Gießverfahren, die mit Dauergussformen arbeiten, sei hier exemplarisch auf das Kokillengießen verwiesen. Die hier vorliegende Erfindung betrifft insbesondere das sogenannte Feingießen.

Beim Feingießen kommen nach dem Stand der Technik Gussformen aus hochfeuerfesten Keramiken zum Einsatz. Zur Herstellung einer Gussform für das Feingießen wird in groben Zügen so vorgegangen, dass in einem ersten Schritt ein Modell für das später mit der Gussform herzustellende Gussbauteil bereit gestellt wird, wobei das Modell eine ähnliche Gestalt wie das herzustellende Gussbauteil aufweist, jedoch um das Schwindmaß des Gusswerkstoffs größere Abmessungen. Dieses Modell wird auch als Bauteilwachsling bezeichnet. Nach dem Stand der Technik wird dieser Bauteilwachsling mit einem Schlickerwerkstoff vorzugsweise mehrfach beschichtet sowie besandet und gegebenenfalls im Anschluss hinterfüllt, so dass nach

dem Ausschmelzen des Bauteilwachslings die Gussform entweder in der sogenannten Kompaktform oder in der sogenannten Schalenform vorliegt. Im Anschluss an das Ausschmelzen des Bauteilwachsling wird die so entstandene, einteilige Gussform gebrannt wird. In die vorzugsweise noch heiße Gussform kann sodann das noch geschmolzene Metall des herzustellenden Gussbauteils gegossen werden, wobei nach der Verfestigung das hergestellte Gussbauteil aus der Gussform ausgeklopft wird. Die Gussform geht hierbei verloren.

Wie bereits erwähnt, werden die Gussformen nach dem Stand der Technik aus hochfeuerfesten Keramikwerkstoffen, wie Aluminiumoxid, Zirkonoxid oder Yttriumoxid mit Siliziumdioxid-Beimengungen gebildet. Ein entsprechender Schlickerwerkstoff wird mithilfe eines Schlickerverfahrens nach dem Stand der Technik auf einen Bauteilwachsling aufgetragen. Gussformen, die Siliziumdioxid-Beimengungen enthalten, sind jedoch reaktiv und führen zu Oberflächenfehlern bei der Herstellung von Gussbauteilen aus reaktiven Nichteisenmetallschmelzen wie Titan-Legierungen oder auch Titan-Aluminium-Legierungen. Dies kann zu Oberflächenfehlern, Maßabweichungen, Rissen und der Ausbildung sogenannter Lunker am herzustellenden Gussbauteil führen. Die aus dem Stand der Technik bekannten Gussformen sind daher für reaktive Nichteisenmetallschmelzen nicht geeignet.

Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein neuartiges Werkzeug zum Herstellen von Gussbauteilen, ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Werkzeugs sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Gussbauteils zu schaffen.

Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass das eingangs genannte Werkzeug durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 weitergebildet ist.

Erfindungsgemäß besteht zumindest ein mit der reaktiven Nichteisenmetallschmelze in Kontakt kommender Bereich der Gussform aus Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung verfügt die Gussform über einem mindestens zweischichtigen Aufbau, wobei eine erste Schicht einen mit der reaktiven Nichteisenmetallschmelze in Kontakt kommenden Formwandbereich und eine zweite Schicht einen den Formwandbereich hinterfüllenden Stabilisierungsbereich bildet. Sowohl die erste Schicht als auch die zweite Schicht bestehen aus Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid, wobei die zweite Schicht, welche die erste Schicht hinterfüllt, weniger Yttriumoxid aufweist und grobkörniger ausgebildet ist als die erste Schicht.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines solchen Werkzeugs ist durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 6 gekennzeichnet. Das Verfahren zum Herstellen eines Gussbauteils ist im Patentanspruch 11 definiert.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung. Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1: einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Gussform für eine Gasturbinenschaufel zusammen mit einer gießtechnisch hergestellten Gasturbinenschaufel.

Nachfolgend wird die hier vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf Fig. 1 in größerem Detail beschrieben. Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine Gussform 10 zusammen mit einer gießtechnisch hergestellten Gasturbinenschaufel 11, wobei die Gasturbinenschaufel 11 ein Schaufelblatt 12 sowie einen Schaufelfuß 13 umfasst. Die gusstechnisch hergestellte Gasturbinenschaufel 11 ist von der Gussform 10 umgeben.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Gussform zweischichtig ausgebildet. Eine erste Schicht 14 der Gussform 10 bildet einen mit der reaktiven Nichteisenmetallschmelze des herzustellenden Gussbauteils in Kontakt kommenden Formwandbe-

reich, eine zweite Schicht 15 derselben bildet eine Hinterfüllung für die erste Schicht 14.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung besteht zumindest die erste Schicht 14 der Gussform 10, die mit der reaktiven Nichteisenmetallschmelze der herzustellenden Gasturbinenschaufel 11 in Kontakt kommt, aus Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid. Mit einer derartigen Zusammensetzung der Gussform 10 zumindest im Bereich der ersten Schicht 14 werden Reaktionen zwischen der Gussform und der reaktiven Nichteisenmetallschmelze vermieden, so dass Maßabweichungen und Rissbildungen am herzustellenden Gussbauteil, nämlich an der herzustellenden Gasturbinenschaufel 11, vermieden werden.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel besteht nicht nur die erste Schicht 14, sondern auch die zweite Schicht 15 der Gussform 10 aus Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid. Die die Hinterfüllung bildende zweite Schicht 15 verfügt jedoch über einen deutlich geringeren Yttriumoxid-Anteil wie die erste Schicht 14, die mit reaktiven Nichteisenmetallschmelze der herzustellenden Gasturbinenschaufel 11 in Kontakt kommt. Darüber hinaus ist die zweite Schicht 15 grobkörnig und dickwandiger ausgebildet als die erste Schicht 14. Dies ist aus Kostengründen und Fertigungsgründen besonders vorteilhaft.

Zur Herstellung der Gussform wird im Sinne der Erfindung so vorgegangen, dass ein Bauteilwachsling bereitgestellt wird, der in etwa die geometrischen Abmessungen des mit der Gussform herzustellenden Gussbauteils aufweist. Der Bauteilwachsling wird mit einem Schlickerwerkstoff beschichtet, wobei der Schlickerwerkstoff aus Wasser, Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid besteht.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die herzustellende Gussform 10 zweischichtig ausgebildet. Demnach wird in einem ersten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung der in Fig. 1 gezeigten Gussform 10 zuerst der Bauteilwachsling vorzugsweise derart mehrlagig mit dem Schlickerwerkstoff beschichtet, dass die erste Schicht 14 der Gussform gebildet wird. Erst im Anschluss hieran erfolgt die vorzugsweise mehrlagige Beschichtung der ersten Schicht 14 mit der zweiten

Schicht 15, wobei die zweite Schicht 15 die Hinterfüllung für die erste Schicht 14 bildet. Für die Herstellung der ersten Schicht 14 sowie der zweiten Schicht 15 werden entsprechend abgestimmte Schlickerwerkstoffe bereitgestellt, wobei beide Schlickerwerkstoffe aus Wasser, Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid bestehen. Der Schlickerwerkstoff zur Bildung der zweiten Schicht verfügt jedoch über einen geringeren Yttriumoxid-Anteil und ist grobkörniger ausgebildet wie der Schlickerwerkstoff zur Bildung der ersten Schicht 14.

Wie bereits erwähnt, verhindert das Yttriumoxid sowie das Magnesiumoxid eine unerwünschte Reaktion der Nichteisenmetallschmelze des herzustellenden Gussbauteils mit der Gussform 10. Das Magnesiumoxid bewirkt zusammen mit dem Wasser des Schlickerwerkstoffs eine exotherme Reaktion, bei der das Wasser verdampft wird. Die Trocknungszeit der Schichten 14 und 15 der Gussform 10 wird hierdurch deutlich reduziert. Der Schlickerwerkstoff bindet ähnlich wie Beton ab. Die Brenntemperatur für die Gussform kann von ca. 1400°C auf ca. 900°C reduziert werden, wobei die Gießtemperatur ebenfalls bei ca. 900°C liegt. Die Herstellung der Gussformen wird hierdurch auf schnelle, einfache und kostengünstige Art und Weise möglich.

Die erste Schicht 14, welche den höheren Yttriumoxid-Anteil aufweist und feinkörniger ausgebildet ist, ist dünnwandiger ausgebildet wie die zweite Schicht 15, welche die Hinterfüllung bildet. Die dünne, erste Schicht 14 unterdrückt unerwünschte Reaktionen zwischen der Gussform und der Nichteisenmetallschmelze. Die zweite Schicht 15 bewirkt eine ausreichende mechanische Festigkeit der Gussform und verleiht derselben eine hohe Wärmekapazität, wodurch eine langsame Abkühlung der Gussform und eine Gießtemperatur von ca. 900°C ermöglicht wird. Die mechanische Festigkeit minimiert Schwindungsverzug, die hohe Wärmekapazität bewirkt eine mikroplastische Verformbarkeit des sonst spröden, gusstechnisch zu verarbeitenden Materials, so dass keine Bauteilrisse oder Brüche entstehen.

Mithilfe der erfindungsgemäßen Gussform ist eine lunkerfreie Erstarrung der reaktiven Nicht-Eisenmetallschmelze des herzustellenden Gussbauteils möglich. Die Befüllung der Gussform kann durch sogenannten Schleuderguss erfolgen.

Insbesondere beim Schleuderguss ist es von Vorteil heizbare Formen durch Mikrowellenbestrahlung oder induktive Einkopplung zu verwenden. Hierfür können Metallpartikel, metallische Strukturen, insbesondere Metallnetze, sowie halbleitende und leitende Nichtmetalle, insbesondere Graphit oder Silizium in die Schicht(en) der Form eingelagert werden.

Es liegt weiterhin im Sinne der hier vorliegenden Erfindung, die Gussform 10 mit einer sich ändernden Dicke, insbesondere im Bereich der zweiten Schicht 15, zu versehen. So zeigt Fig. 1, dass die zweite Schicht 15 im Bereich des Schaufelfußes 13 wesentlich dicker ausgebildet ist als im Bereich des Schaufelblatts 11. Darüber hinaus kann zusätzlich eine Dickenvariation der Gussform dadurch erfolgen, dass am oberen Ende des Schaufelblatts 12 die Gussform dünnwandiger ist als im unteren Bereich, der sich an den Schaufelfuß 13 anschließt. Hierdurch kann erzielt werden, dass die Nichteisenmetallschmelze gerichtet erstarrt und die Erstarrungsfront im Bereich des Schaufelfußes endet.

Die erfindungsgemäße Gussform eignet sich insbesondere zur Herstellung von Gasturbinenbauteilen wie Schaufeln, die aus einer Titan-Aluminium-Legierung insbesondere intermetallische Phasen ausbildende Titan-Aluminide mit 43-48 Gew% Aluminium hergestellt werden. Hierzu wird eine Titan-Aluminium-Legierungsschmelze in die oben beschriebene Gussform eingefüllt, wobei nach dem Erstarren das Gussbauteil aus der Gussform herausgelöst wird.

## Patentansprüche

1. Werkzeug zum Herstellen von Gussbauteilen, insbesondere Gasturbinenbauteilen, aus reaktiven Nichteisenmetallschmelzen, insbesondere aus Titanlegierungen, wobei das Werkzeug als Gussform ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein mit der reaktiven Nichteisenmetallschmelze in Kontakt kommender Bereich der Gussform (10) aus Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid besteht.
2. Werkzeug nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine mit der reaktiven Nichteisenmetallschmelze in Kontakt kommender Formwandbereich der Gussform (10) aus Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid besteht.
3. Werkzeug nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gussform über einen mindestens zweischichtigen Aufbau verfügt, wobei eine erste Schicht (14) einen mit der reaktiven Nichteisenmetallschmelze in Kontakt kommenden Formwandbereich und eine zweite Schicht (15) einen den Formwandbereich hinterfüllenden Stabilisierungsbereich bildet.
4. Werkzeug nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** sowohl die erste Schicht (14) als auch die zweite Schicht (15) aus Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid bestehen, wobei die zweite Schicht (15), welche die erste Schicht (14) hinterfüllt, weniger Yttriumoxid aufweist und grobkörniger ausgebildet ist als die erste Schicht.
5. Werkzeug nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Schicht (15) dickerwandiger ausgebildet ist als die erste Schicht (14).
6. Verfahren zum Herstellen einer Gussform für Gussbauteile, insbesondere Gasturbinenbauteile, aus reaktiven Nichteisenmetallschmelzen, insbesondere aus Titanlegierungen, **gekennzeichnet durch folgende Schritte:**

- a) Bereitstellen eines Bauteilwachsling, der die geometrischen Abmessungen der mit der Gussform herzustellenden Feingussbauteile aufweist,
  - b) Beschichten des Bauteilwachsling mit einem Schlickerwerkstoff bestehend aus Wasser, Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid,
  - c) Trocknen und Aushärten der Beschichtung zu der Gussform,
  - d) Entfernen des Bauteilwachsling aus der Gussform.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Zusammenhang mit Schritt b) der Schlickerwerkstoff mehrlagig auf den Bauteilwachsling aufgetragen wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schlickerwerkstoff derart mehrlagig auf den Bauteilwachsling aufgetragen, dass eine Gussform mit einem mindestens zweischichtigen Aufbau entsteht, wobei eine erste Schicht der Gussform einen mit der reaktiven Nichteisenmetallschmelze in Kontakt kommenden Formwandbereich und eine zweite Schicht der Gussform einen den Formwandbereich hinterfüllenden Stabilisierungsbereich bildet.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bildung der ersten Schicht der Gussform zuerst eine oder mehrere Lagen eines Schlickerwerkstoff bestehend aus Wasser, Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid auf den Bauteilwachsling aufgetragen werden, und dass anschließend zur Bildung der zweiten Schicht eine oder mehrere Lagen eines Schlickerwerkstoff bestehend aus Wasser, Yttriumoxid, Magnesiumoxid und Kalziumoxid auf die erste Schicht aufgetragen werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schlickerwerkstoff zur Bildung der zweiten Schicht, welche die erste Schicht hinterfüllt, weniger Yttriumoxid aufweist und grobkörniger ausgebildet ist als der Schlickerwerkstoff zur Bildung der ersten Schicht.



11. Verfahren zum Herstellen eines Gussbauteils, insbesondere eines Gasturbinenbauteils, aus reaktiven Nichteisenmetallschmelzen, insbesondere aus Titanlegierungen, **gekennzeichnet durch folgende Schritte:**
  - a) Bereitstellen einer Gussform nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 10,
  - b) Einfüllen der Nichteisenmetallschmelze in die Gussform,
  - c) Erstarren der Nichteisenmetallschmelze in der Gussform,
  - d) Herauslösen des Gussbauteils aus der Gussform.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Herstellung eines Gasturbinenbauteils eine Titan-Aluminium-Legierungsschmelze in die Gussform eingefüllt wird.

1/1

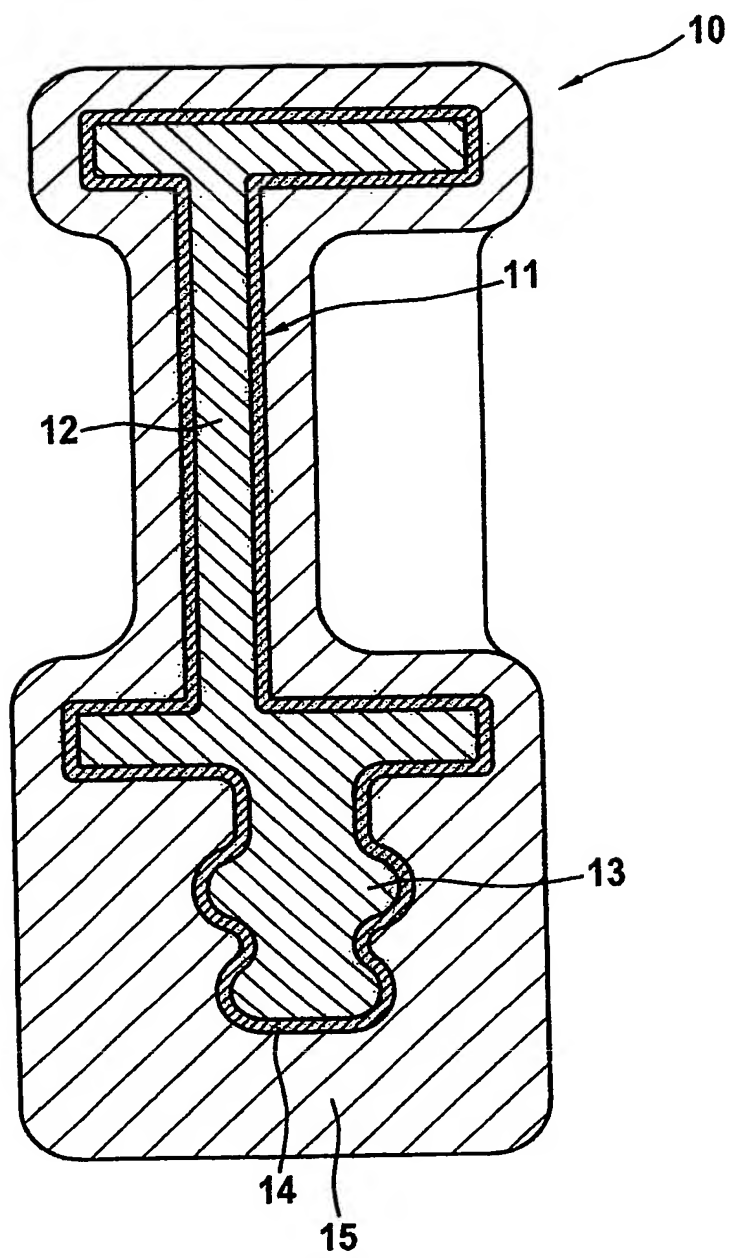


Fig. 1